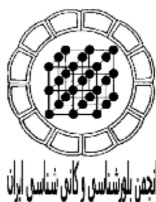
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۴۵۵ تا ۴۶۶



شیمی مگنتیت: شاهدی بر کانه‌زایی اسکارن آهن در رشته کوه آهنگران، شرق ایران

مریم سادات مظهری[1]، سعید سعادت*[2]، سید احمد مظاهری[1]، سید مسعود همام[1]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه مهندسی نفت و زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۹/۱۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲)

چکیده: منطقه معدنی مورد بررسی در شمال شرق قطعه لوت و در رشته کوه آهنگران واقع است. واحدهای سنگی منطقه اغلب شامل واحدهای آهکی و سنگ‌های کربناتی دگرگون شده هستند که توده‌های نفوذی با ترکیب دیوریت، مونزودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت در آنها نفوذ نموده‌اند. بر اساس کنترل ساختاری پهنه کانی‌سازی و تشکیل جانشینی دگرنهادی با حضور کانی‌های آبدار دما پایین چون کلریت و اپیدوت همراه با مگنتیت، می‌توان کانه‌زایی آهن منطقه را از نوع اسکارن دما پایین دانست. شیمی کانی مگنتیت و مقادیر Ca، Ti، Al، V، Cr، Ni و Mn نیز شاهدی بر شکل‌گیری ذخایر اسکارن در منطقه هستند. بررسی‌های صحرایی نشان دارند که خاستگاه کانی‌سازی آهن منطقه معدنی، توده نفوذی جوانتر دیگری در عمق است. براساس تحلیل مؤلفه‌های محاسبه شده بر پایه عناصر خاکی نادر (REE)، محلول کانه‌دار با خاستگاه ماگمایی از طریق گسل‌ها به بالا راه یافته و پس از آمیختگی با سیال‌های جوی، در نتیجه واکنش با سنگ‌های کربناتی، کانسنگ آهن را ایجاد نموده است.

واژه‌های کلیدی: *شیمی مگنتیت؛ کانی‌سازی آهن؛ اسکارن دما پایین؛ آهنگران؛ لوت.*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.3.8]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.455]

مقدمه

منطقه مورد بررسی در ۱۷۰ کیلومتری جنوب شرق قائن در موقعیت جغرافیایی ″۲۹ ′۱۸ °۳۳ تا ″۳۳ ′۱۹ °۳۳ عرض شمالی و ″۵۵ ′۸ °۶۰ تا ″۳۵ ′۹ °۶۰ طول شرقی واقع است. در رده‌بندی زمین‌شناسی و ساختاری ایران [۱]، این منطقه در بخش شمال شرقی قطعه لوت قرار دارد (شکل ۱). حجم بالای فعالیت ماگمایی ترشیری از مهم‌ترین ویژگی‌های قطعه لوت بوده که موجب تمایز آن از زیربخش‌های خردقاره ایران مرکزی شده است [۲]. فعالیت‌های ماگمایی با حجم بالا و شرایط زمین ساختی ویژه در زمان های مختلف در قطعه لوت، سبب رخداد ذخایر متنوعی از کانی‌سازی‌های فلزی و غیرفلزی در آن شده است [۳-۷]. شیمی کانی مگنتیت با عوامل گوناگونی چون دما، گریزندگی اکسیژن، ترکیب سیال/مذاب، نرخ سردشدگی کنترل می‌گردد و به علت تفاوت ترکیب آن در کانسارهای مختلف می‌توان از آن به عنوان یک شاخص پی جویی بهره برد [۸-۱۴]. تجزیه عناصر فرعی و خاکی نادر در مگنتیت کانسارهای مختلف و کاربرد آن در پی جویی کانسارهای مختلف توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است [۱۵-۲۵]. زمین‌شناسی، کانی‌سازی و شیمی کانی مگنتیت در منطقه معدنی کلاته ناصر در رشته کوه آهنگران برای نخستین بار در این پژوهش به تفصیل بررسی شده است. سرانجام با ترکیب اطلاعات سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی و شیمی عناصر خاکی نادر و فرعی در کانی مگنتیت، پیرامون مدل تشکیل و نوع کانی‌سازی بحث می‌شود.

روش بررسی

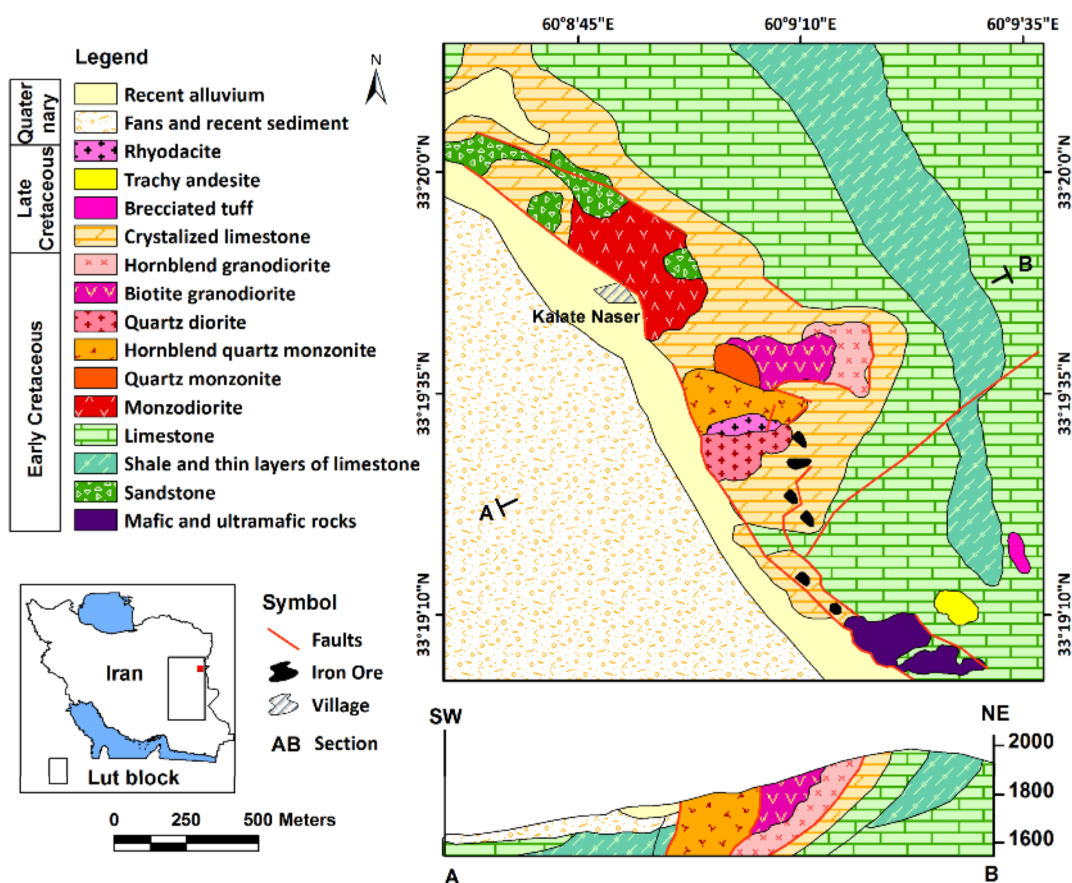
در این پژوهش، بررسی‌های صحرایی- آزمایشگاهی برای تهیه نقشه زمین‌شناسی- کانی‌سازی انجام شد. برای این منظور حدود بر ۱۵۰ مقطع نازک بررسی‌های سنگ‌نگاری و دگرسانی، بر ۶۰ مقطع نازک صیقلی بررسی‌های کانه‌نگاری و بر ۱۰ نمونه کانه مگنتیت جداسازی شده تجزیه عناصر فرعی و خاکی

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۱۳۷۶۲۹، نمابر: ۰۵۱۳۸۶۸۹۱۲، پست الکترونیکی: saeed.saadat@colorado.edu

نادر به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) در آزمایشگاه زرآزما انجام گرفت.

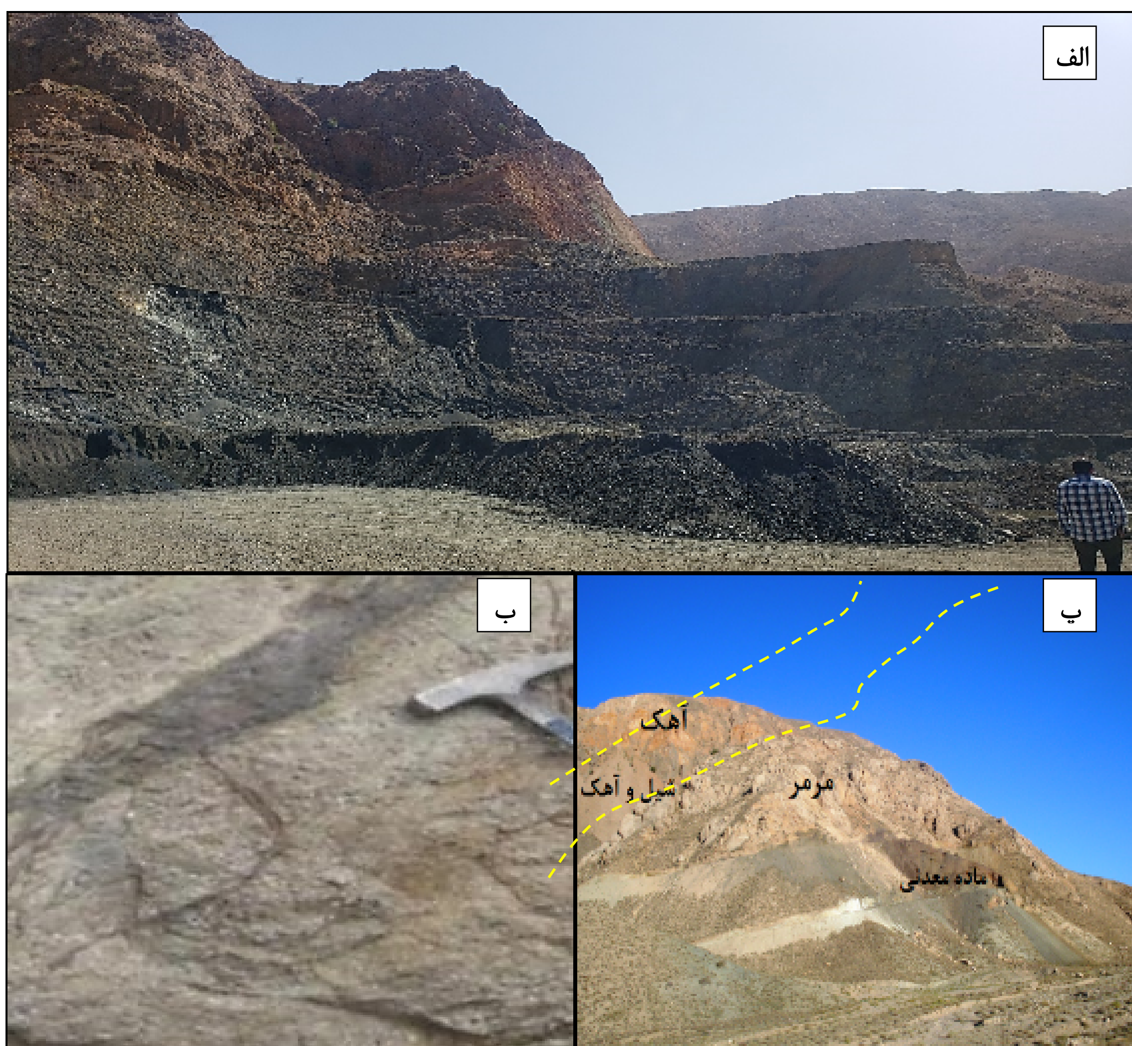
زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در شمال غرب برگه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ شاهرخت [۲۶] و ۱:۱۰۰۰۰۰ آهنگران [۲۷] واقع است. واحدهای زمین‌شناسی این منطقه را می‌توان در ۶ گروه قرار داد (شکل ۱) که عبارتند از: ۱) ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های منسوب به کرتاسه پیشین که قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در منطقه معدنی هستند و گسترش این واحدها محدود به شمال و شمال غرب منطقه معدنی است؛ ۲) واحدهای آهکی که دارای بیشترین گسترش در منطقه معدنی هستند. سنگ آهک‌های کرم رنگ توده‌ای در بخش‌های شرقی منطقه رخنمون دارند و مرتفع‌ترین واحدهای سنگی منطقه را شامل می‌شوند (شکل ۲). این واحدها در بخش‌های مرکزی به‌صورت مجموعه‌ای از آهک‌های نازک‌لایه همراه شیل دیده می‌شوند. آهک‌های این واحد دربردارنده سنگواره هستند و با رنگ زرد تا نارنجی رخنمون دارند و ارتفاع‌های متوسط منطقه را تشکیل داده و سرانجام به سمت غرب منطقه آهک‌های بلورین قرمز و سفید رنگ که گاه می‌توان از آنها به عنوان مرمر یاد کرد دیده می‌شوند. ۳) توده‌های نفوذی که در مرکز منطقه معدنی با طیف ترکیبی از کوارتزدیوریت، مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت تا گرانودیوریت رخنمون دارند. نفوذ این سنگ‌ها باعث تغییرات بافتی و کانی‌شناسی در محل همبری با سنگ‌های کناری شده و گاهی واحد آهکی در کنار توده نفوذی تبدیل به مرمر یا اسکارن شده است. ۴) سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پسین که بر پایه بررسی های میکروسکوپی، ترکیب ریوداسیت و تراکی‌آندزیت دارند. رخنمون این واحدها کم و در جنوب منطقه معدنی است. ۵) سنگ‌های مافیک که وابسته به سری‌های افیولیتی از مجموعه پهنه فلیش‌های شرق ایران هستند و در جنوب منطقه معدنی دیده می‌شوند؛ ۶) رسوب‌های سخت نشده عهد حاضر که در جنوب غرب منطقه رخنمون دارند.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه و موقعیت آن در قطعه لوت، شرق ایران.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.3.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.455]



شکل ۲ الف) رخنمون مگنتیت توده‌ای (جهت دید به سمت شرق)، ب) نمایی از واحدهای آهکی و شیلی در کنار ماده معدنی (دید به سمت شمال شرق) و پ) رگچه مگنتیتی (منطقه معدنی کلاته ناصر).

سنگ‌نگاری توده‌های نفوذی

بر پایه ویژگی‌های صحرایی و میکروسکوپی (ترکیب سنگی، زمینه، فراوانی و نوع درشت بلور، مقدار و نوع کانی‌های مافیک) ۶ توده در منطقه مورد بررسی قابل تفکیک هستند که در ادامه شرح داده می‌شوند.

مونزودیوریت: رخنمون این واحد در بخش شمال غربی منطقه معدنی است. بافت عمده سنگ نیمه خودریخت دانه‌ای تا دگرریخت دانه‌ای بوده و شامل ۵۵ تا ۶۰ درصد پلاژیوکلاز (ترکیب متوسط آندزین) با اندازه ۲ تا ۴ میلی‌متر، ۱۰ تا ۱۵ درصد فلدسپار قلیایی با اندازه ۰/۸ تا ۱ میلی‌متر و ۱۲ تا ۱۵ درصد کلینوپیروکسن (اوژیت) با اندازه ۰/۲ تا ۰/۵ میلیمتر است. اسفن و آپاتیت به‌صورت فرعی در مقاطع دیده می‌شوند. عمده‌ترین کانی کدر مگنتیت است. اپیدوت و کلریت مهمترین کانی‌های دگرسانی دیده شده در این واحد هستند (شکل ۳ الف).

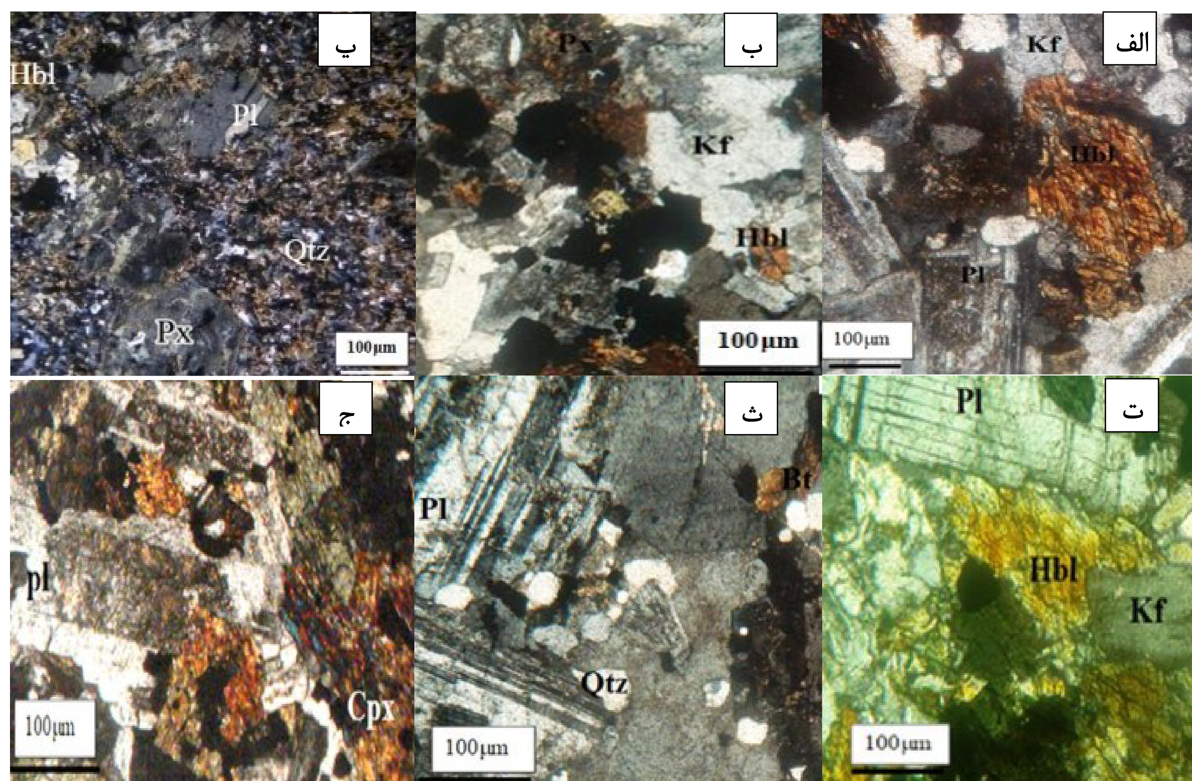
کوارتز مونزونیت: این واحد در بخش‌های مرکزی منطقه معدنی رخنمون دارد. بافت عمده سنگ دانه‌ای و بین دانه‌ای است و شامل ۳۰ تا ۵۰ درصد فلدسپار قلیایی به صورت خودشکل و نیمه‌شکل‌دار و با اندازه ۱ تا ۲ میلی‌متر و با ماکل کارلسباد، ۲۵ تا ۴۵ درصد پلاژیوکلاز (الیگوکلاز) با اندازه متوسط ۵ میلی‌متر، ۱۰ تا ۱۵ درصد کلینوپیروکسن با اندازه تقریبی ۱/۵ میلیمتر که در برخی از بلورها میانبارهایی از کانی‌های تیره چون مگنتیت دیده می‌شود، ۵ درصد هورنبلند با اندازه تقریبی ۰/۵ تا ۰/۸ میلی‌متر که در برخی نقاط به کانی‌های ثانویه چون

کلریت و اپیدوت تجزیه شده‌اند، ۱۰ درصد کوارتز با اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر، و تا حدود ۵ درصد مگنتیت بصورت بلورهای هشت وجهی و پراکنده است. اپیدوت، کلریت، سرسیت، اورالیت و کائولن از کانی‌های ثانویه دیده شده در این واحد هستند (شکل ۳ ب).

هورنبلند کوارتز مونزونیت: رخنمون این واحد در مرکز منطقه معدنی است. بافت دانه‌ای بافت غالب این سنگ بوده و شامل ۳۰ تا ۳۵ درصد پلاژیوکلاز (آندزین-الیگوکلاز) با اندازه ۲ تا ۵ میلی‌متر، ۳۵ درصد فلدسپار قلیایی با اندازه ۰/۸ تا ۱ میلی‌متر، ۱۰ درصد کوارتز با اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر و ۱۵ درصد هورنبلند با اندازه ۰/۸ تا ۱ میلی‌متر است که گاهی به کلریت و اکسید آهن تبدیل شده‌اند. کانی‌های فرعی آپاتیت، زیرکن و کانی‌های کدر (مگنتیت) هستند. از جمله کانی‌های ثانویه که در اثر دگرسانی در این واحد سنگی بوجود آمده‌اند می‌توان به کلریت، سریسیت، اپیدوت، کانی‌های رسی و کلسیت اشاره کرد (شکل ۳ پ).

کوارتز دیوریت: رخنمون این واحد نیز در بخش‌های مرکزی دیده می‌شود. بافت غالب آن دانه‌ای و بین دانه‌ای بوده و شامل ۴۵ تا ۵۰ درصد پلاژیوکلاز (آندزین- لابرادوریت) با اندازه ۰/۴ تا ۲ میلی‌متر، ۱۰ تا ۱۲ درصد پیروکسن با اندازه ۰/۷ تا ۱ میلی‌متر، ۵ تا ۷ درصد فلدسپار قلیایی با اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر و کمتر از ۲ درصد هورنبلند است. عمده‌ترین کانی‌های دگرسانی کربنات، سریسیت و کلریت هستند (شکل ۳ ت).

بیوتیت گرانودیوریت: رخنمون این واحد در بخش‌های مرکزی منطقه معدنی دیده می‌شود. بافت‌های غالب دانه‌ای و گرانوفیری هستند. این سنگ‌ها دارای ۴۰ درصد پلاژیوکلاز با اندازه ۴ تا ۶ میلی‌متر، ۲۵ درصد فلدسپار قلیایی با اندازه ۰/۸ تا ۱ میلی‌متر، ۲۰ درصد کوارتز با اندازه ۱ تا ۲ میلی‌متر و بیوتیت با فراوانی ۱۲ تا ۱۵ درصد و اندازه ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌متر هستند. کانی‌های فرعی شامل آپاتیت، اسفن، زیرکن و کانی‌های کدر (مگنتیت) هستند. از کانی‌های ثانویه سنگ می‌توان به سریسیت، اپیدوت، کلریت، کلسیت و هماتیت اشاره نمود (شکل ۳ ث).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از توده‌های نفوذی منطقه مورد بررسی: الف) مونزودیوریت، ب) کوارتز مونزونیت، پ) هورنبلند کوارتز مونزونیت، ت) کوارتز دیوریت، ث) بیوتیت گرانودیوریت و ج) گرانودیوریت. (نشانه های اختصاری برگرفته از مرجع [۲۸])

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.3.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.455]

گرانودیوریت: رخنمون این واحد در بخش‌های مرکزی منطقه معدنی دیده می‌شود. عمده‌ترین بافت‌ها دانه‌ای، میرمکیتی و گرانوفیری هستند و شامل ۴۰ درصد پلاژیوکلاز با اندازه ۴ تا ۸ میلی‌متر، ۲۰ درصد فلدسپار قلیایی با اندازه ۰/۶ تا ۰/۹ میلی‌متر، ۲۰ درصد کوارتز با اندازه ۰/۴ تا ۰/۸ میلی‌متر، ۱۲ درصد آمفیبول با اندازه ۰/۸ تا ۱ میلی‌متر و ۱۰ درصد پیروکسن با اندازه ۰/۴ تا ۰/۹ میلی‌متر است. کانی‌های فرعی: اسفن، آپاتیت، زیرکن و کانی‌های کدر هستند. کلسیت، سریسیت و اپیدوت مهم‌ترین کانی‌های ثانویه در این واحد هستند (شکل ۳ ج).

کانی‌سازی و کانی‌شناسی کانسنگ

بخش اصلی کانی‌سازی آهن در مرکز منطقه دیده می‌شود (شکل ۱). بر پایه بررسی های صحرایی، گسل‌خوردگی‌های متعدد باعث جابه‌جایی‌های فراوان شده و محیط مناسب را برای نفوذ محلول‌های کانه‌دار فراهم نموده‌اند. پهنه کانی‌سازی مگنتیت با کنترل ساختاری به‌صورت توده‌ای (شکل ۲ الف)، رگه-رگچه‌ای (شکل ۲ پ) و برشی همراه با هاله‌ای از اسکارن دما پایین (ضخامت تا ۸۰ متر) تشکیل شده و میزبان آن توده دیوریتی است. اگرچه کانی‌سازی در کنار توده دیوریتی دیده می‌شود ولی براساس شواهد صحرایی، این توده نقشی در کانی‌سازی نداشته است، زیرا کانی‌های آهکی‌سیلیکاتی دما بالا چون پیروکسن و گارنت و اندواسکارن دیده نمی‌شوند. از سوی دیگر، نفوذ توده‌ها در واحدهای کربناتی در بخش‌های دیگر منطقه نیز به‌چشم می‌خورد، اما اثری از کانی‌سازی آهن دیده نمی‌شود. از این رو شواهد نشان می‌دهند که توده نفوذی عامل کانی‌سازی باید در عمق زیاد باشد و محلول‌های کانه‌دار توسط گذرگاه‌های گسلی به سطح نفوذ نموده و سبب جانشینی دگرنهادی، تشکیل اسکارن دما پایین، دگرسانی سنگ میزبان و سرانجام کانه‌زایی آهن شده‌اند. کانسار آهن مورد بررسی بیشتر از مگنتیت، هماتیت و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) تشکیل شده است. پیریت و کالکوپیریت به مقدار کم حضور دارند. مالاکیت و آزوریت در بخش‌هایی از منطقه بصورت جزئی رخنمون دارند. باطله های اصلی کلسیت، کوارتز ،کلریت و اپیدوت هستند.

مگنتیت: مهمترین کانه فلزی اقتصادی در منطقه مگنتیت بوده و بیشترین حجم کانسنگ از مگنتیت تشکیل شده است. قسمت اقتصادی ماده معدنی بافت توده‌ای دارد و در بخش‌هایی که دچار خردشدگی شده‌اند، بافت تنش‌آواری دیده می‌شود (شکل ۴ الف) مقدار مگنتیت در پهنه کانی‌سازی از ۴۵ تا ۹۰ درصد متغیر است. خردشدگی بیشتر در اثر زمین ساخت رخ داده است. بخشی از مگنتیت‌ها در راستای درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در توده نفوذی تزریق شده و رگه-رگچه‌های مگنتیتی را بوجود آورده‌اند (شکل ۴ ب). مگنتیت به آسانی در محیط هوازدگی به هماتیت تبدیل شده و هماتیت بی‌شکل برآمده از مگنتیت مارتیت [۲۸] در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌گردد. مگنتیت از محل درز و شکستگی‌ها و لبه‌ها به مارتیت تبدیل شده است. مقدار مارتیتی شدن از ۱۰ تا ۵۰ درصد متغیر است و نشان می‌دهد که کانسنگ در معرض یک رخداد گرمابی بعدی بوده است (شکل ۴ پ).

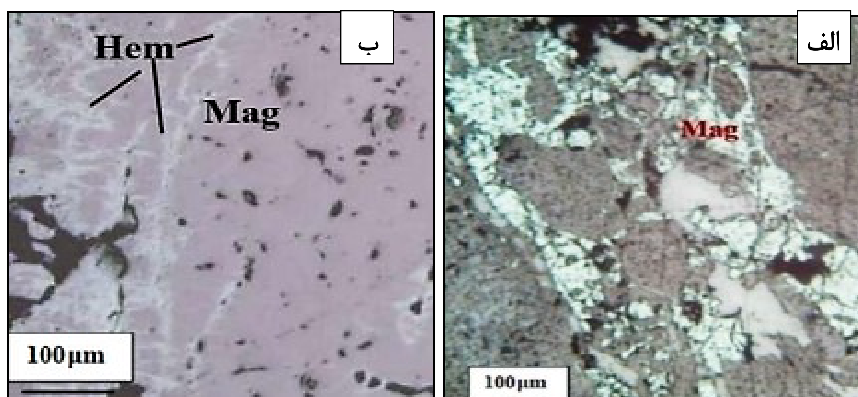
پیریت: دو نسل پیریت در منطقه معدنی شناسایی شدند و مقدار آن از ۱۰ تا ۲۰ درصد متغیر است، پیریت‌های نسل اول به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل در اندازه ۲۵ میکرون تا ۱ میلی‌متر و همراه با مگنتیت‌های توده‌ای و به صورت پراکنده در متن مگنتیت قرار دارند و اغلب به گوتیت تبدیل شده‌اند. حدود ۲۵ تا ۵۵ درصد بلورهای پیریت به گوتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۵ الف). پیریت‌های نسل دوم پس از تشکیل مگنتیت‌ها و به شکل رگه-رگچه‌های قطع کننده مگنتیت در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی دیده می‌شوند (شکل ۵ ب).

کالکوپیریت: کالکوپیریت، نسبت به پیریت در منطقه معدنی فراوانی کمتری دارد. مقدار کالکوپیریت از ۲ تا ۸ درصد در تغییر است. بلورهای کالکوپیریت نسل اول همراه با پیریت‌های نسل اول و در مرحله سولفیدزایی بوجود آمده‌اند. بلورهای کالکوپیریت این نسل شکل مشخصی ندارند و اغلب در لبه پیریت دیده می‌شوند . کالکوپیریت بافت پراکنده و دانه‌ای نشان می‌دهد (شکل ۶ الف). نسل دوم رگه-رگچه‌های کالکوپیریت‌دار هستند که در یک فاز تأخیری پس از کانه‌زایی بوجود آمده و فاز اولیه مگنتیت‌دار را قطع نموده‌اند (شکل ۶ ب). بلورهای کالکوپیریت نسل دوم درشت‌تر از نسل اول هستند. وجود هماتیت سوزنی و کلسیت نشان‌دهنده حضور یک سیال اکسایشی پس از تشکیل کالکوپیریت اولیه است.

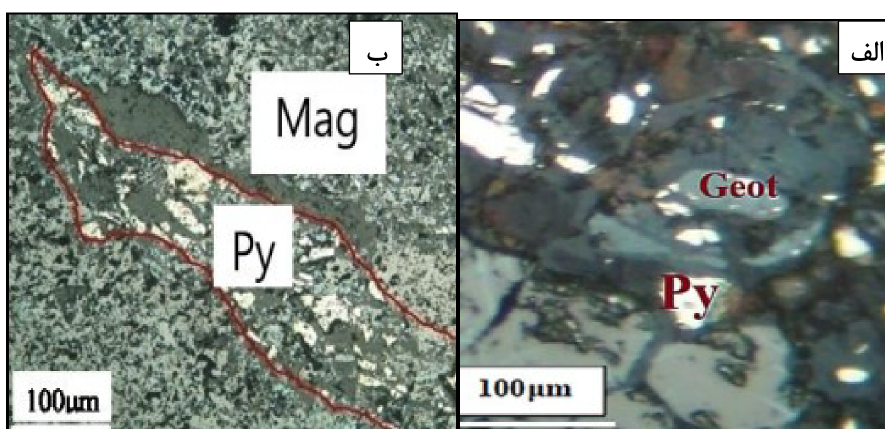
هماتیت: هماتیت از کانی‌های اکسیدی منطقه معدنی است ولی از نظر اقتصادی ارزشی ندارد. کانه‌زایی هماتیت در قالب کانی

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.3.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.455]

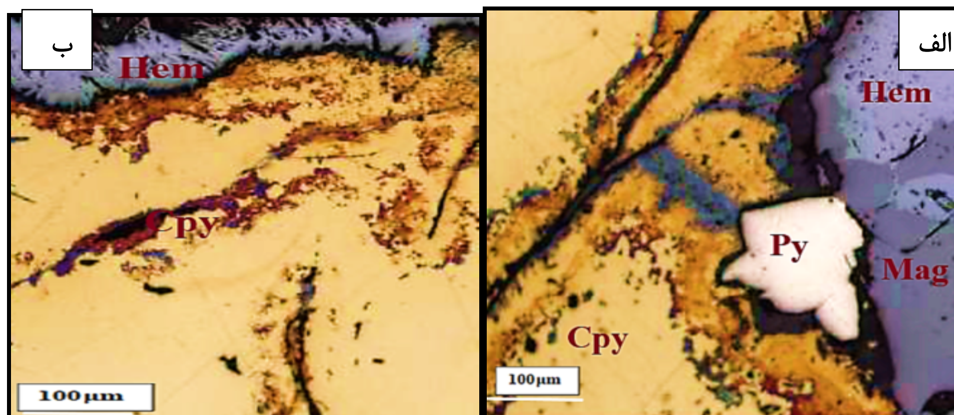
اولیژیست و تشکیل به‌صورت اولیه از سیال به شکل رگه‌های اولیژیستی و شکل‌گیری آن در حفره‌ها و شکستگی‌هایی که بر مگنتیت اعمال شده‌اند، نشان دهنده تشکیل مستقیم و اولیه آهن سه ظرفیتی با ساختار اولیژیست پس از کانه‌زایی مگنتیت است. بخش اصلی هماتیت نیز بصورت ثانویه در قالب بافت مارتیتی شدن از جانشینی مگنتیت بوجود آمده است (شکل ۷).



شکل ۴ تصاویر نور بازتابی یک بار قطبیده از مگنتیت: الف) مگنتیت با بافت تنش آواری (برشی) و ب) تبدیل شدن مگنتیت (Mag) به هماتیت (Hem) در محل شکستگی‌ها.



شکل ۵ الف) پیریت (Py) نسل اول در حال تبدیل شدن به گوتیت (Geot) و ب) رگچه پیریت (Py) نسل دوم که مگنتیت (Mag) را قطع نموده است (نور بازتابی یک بار قطبیده).



شکل ۶ الف) بلور کالکوپیریت (Cpy) نسل اول همراه با پیریت (Py) و مگنتیت (Mag) نسل اول و هماتیت (Hem) و ب) کالکوپیریت درشت بلور نسل دوم همراه با هماتیت سوزنی (Hem) (نور بازتابی یک بار قطبیده).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.3.8]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.455]

Minerals	Disseminated mineralization	Metasomatism Stage 1	Metasomatism Stage 2	supergene
Magnetite				
Pyrite				
Chalcopyrite				
Quartz				
Calcite.				
Chlorite				
Epidote				
Hematite				
Goethite				
Malachite				
Azurite				
Mn-oxide				
Textures and Structures: Dissiminated				
Textures and Structures: Brecciated				
Textures and Structures: Massive				
Textures and Structures: Vein-Veinlet				

شکل ۷ توالی همبرزایی کانی‌های کانی‌سازی آهن در منطقه مورد بررسی.

شیمی مگنتیت

عناصر فرعی مختلفی می‌توانند در ساختار بلوری مگنتیت جایگزین شوند، در این بین عناصری چون Al، Ti، Mg، V، Mn، Co، Ni، Zn، Cr و Ga می‌توانند جانشین Fe^{+2} و Fe^{+3} در ساختار مگنتیت شوند [۲۹]. نتایج تجزیه شیمی مگنتیت‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده‌است. نمودار عناصر خاکی نادر (REE) مگنتیت که نسبت به کندریت به‌هنجار شده‌اند برای همه نمونه‌ها الگوی تقریباً یکسانی را نشان می‌دهد. غنی‌شدگی به نسبت ضعیفی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) نیز دیده می‌شود [۳۰] (شکل ۸). مقدار REEها در نمونه‌های مگنتیتی بین ۹٫۸۶ تا ۱۲٫۳۷ گرم در تن و به نسبت پایین است (جدول ۱). مقدار فسفر در نمونه‌ها ۰٫۰۰۳۹ تا ۰٫۰۰۹۶ درصد، تیتانیوم بین ۰٫۰۰۶ تا ۰٫۰۵۳ درصد و گوگرد کمتر از ۰٫۱۶ درصد است؛ بنابراین مگنتیت‌های مورد بررسی از نوع کم گوگرد، تیتان و فسفر به حساب می‌آیند. مقدار کلسیم بین ۱۶۵ تا ۵۹۷۵ گرم در تن، آلومینیوم بین ۱۱۰۰ تا ۲۷۰۰ گرم در تن، منگنز بین ۲۱۵ تا ۱۱۲۳ گرم در تن، منیزیوم بین ۱۹۶ تا ۱۲۴۵ گرم در تن، وانادیوم بین ۳۸ تا ۲۳۴ گرم در تن، کروم بین ۵ تا ۲۵ گرم در تن و نیکل بین ۲۱ تا ۷۸ گرم در تن متغیر است.

بحث

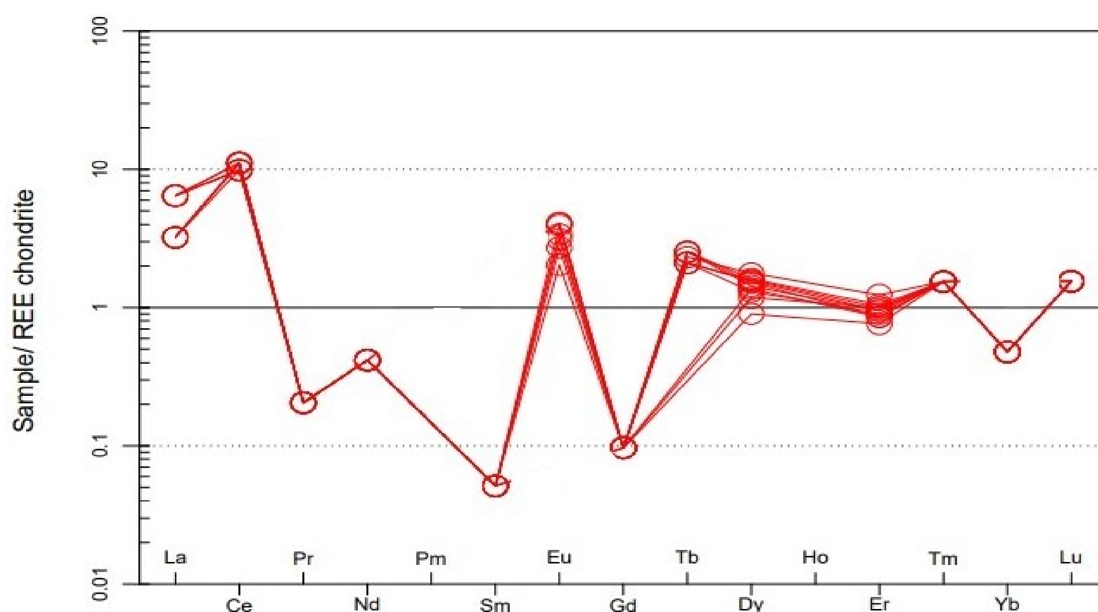
تعیین نوع کانه‌زایی

مقدار عناصر خاکی نادر و فرعی در مگنتیت‌های کانسارهای مختلف، متفاوت است و بستگی به شرایط فیزیکوشیمیایی محلول کانه‌دار دارد و بنابراین می‌توان از آن برای تعیین نوع

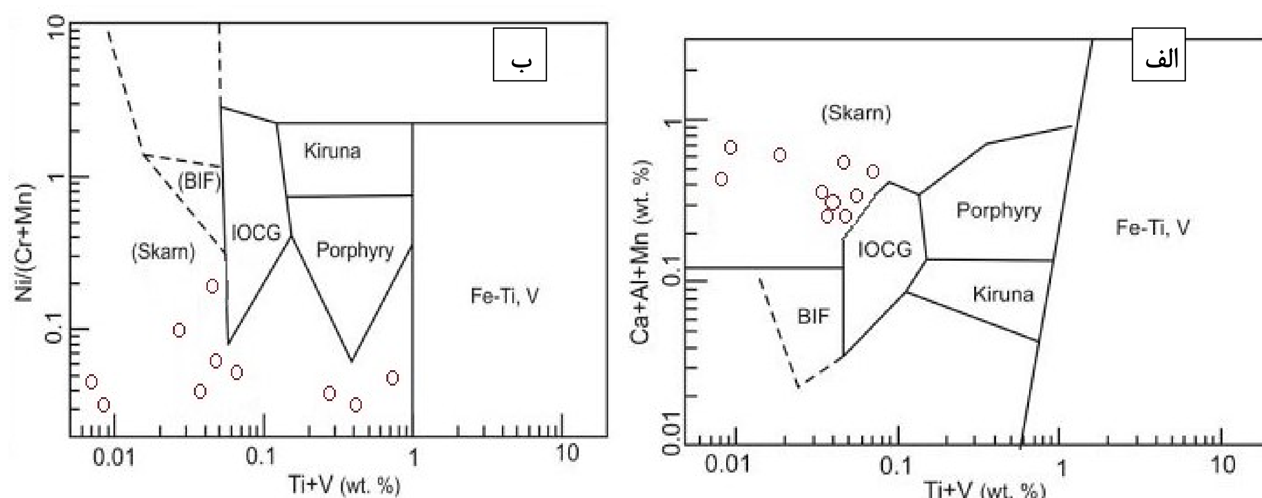
کانسار استفاده نمود [۳۲،۳۱،۱۸،۱۶،۹،۱۰]. برای نمونه، بیشترین مقدار تیتان و وانادیوم مربوط به مجموعه‌های مافیک و فرامافیک است. کانسارهای مگنتیت نوع کایرونا دارای تیتان و وانادیوم بیشتری نسبت به سایر کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) هستند [۳۳]. در مگنتیت‌های کانسارهای پورفیری، مقدار تیتان و وانادیوم شبیه ذخایر کایرونا ولی مقدار نیکل، آلومینیوم و کلسیم در ذخایر پورفیری بیشتر و مقدار نیکل در ساختار مگنتیت کمتر است. با اینکه مگنتیت‌های دارای مقادیر پایین تیتان از مشخصه‌های کانسارهای IOCG هستند، ولی این ویژگی در کانسارهای اسکارن نیز دیده می‌شود با این تفاوت که مقادیر Ni/(Cr+Mn) در کانسارهای اسکارن تغییرات بیشتری نشان می‌دهد [۹]. بر اساس نمودارهای Ca+AL+Mn و Ni/Cr+Mn نسبت به Ti+V [۹]، مگنتیت‌های مورد بررسی در گستره کانسارهای اسکارن قرار دارند (شکل ۹).

جدول ۱ نتایج آنالیز عناصر فرعی و نادر خاکی در مگنتیت بر حسب گرم در تن.

نام نمونه	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Al	۲۷۲۰	۱۵۷۰	۱۸۲۴	۱۵۵۰	۱۵۳۰	۱۱۹۰	۲۰۲۵	۱۷۶۷	۱۱۰۰	۲۰۶۸
Ca	۲۵۶	۲۷۶	۱۹۸۰	۱۶۵	۱۲۰۰	۴۹۸۹	۵۶۷	۲۳۴۳	۵۹۷۵	۷۱۲
Co	۲۲	۱۷	۶	۱۲	۳	۱۱	۵	۳۶	۹	۴
Cr	۱۹	۵	۲۵	۱۶	۱۴	۱۰	۱۷	۱۱	۱۴	۱۱
La	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۲	۲
Lu	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱
Mg	۶۲۳	۸۹۸	۱۲۰۳	۸۷۶	۲۷۸	۱۲۴۵	۵۶۸	۳۵۹	۱۹۶	۵۹۹
Mn	۲۵۴	۴۸۷	۲۷۸	۹۷۸	۱۱۲۳	۳۸۵	۳۰۷	۵۱۵	۳۹۹	۲۱۵
Na	۱۰۰	۳۶۴	۱۵۷	۲۳۲	۵۰۶	۲۴۵	۴۰۷	۲۶۷	۳۴۳	۱۹۸
Ni	۵۶	۴۵	۱۳	۲۳	۲۹	۴۹	۲۲	۷۸	۴۵	۲۱
P	۹۶	۵۶	۴۸	۴۵	۵۸	۳۹	۶۷	۴۷	۷۹	۶۵
Rb	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱
S	۱۶۹۵	۱۵۴	۳۷۸	۹۳۶	۴۲۳	۲۱۵	۱۳۴	۱۳۹۹	۱۲۵	۱۱۲
Sr	۱۶	۱۱	۲۱	۴۹	۳۸	۱۸	۲۲	۱۵	۱۶	۱۸
Th	۰٫۴۹	۰٫۳۸	۰٫۳۹	۰٫۳۱	<۰٫۱	۰٫۹	۰٫۲۹	<۰٫۱	۰٫۲۵	۰٫۲۷
Ti	۵۳۴	۴۳۰	۳۱۲	۴۳۲	۲۰۲	۶۵	۲۱۰	۳۱۲	۱۶۶	۹۳
V	۹۸	۴۷	۲۳۴	۵۵	۱۲۳	۹۵	۴۵	۱۱۲	۶۹	۳۸
Y	۲٫۲	۲٫۴	۱٫۸	۲٫۴	۲	۲٫۱	۱٫۹	۱٫۶	۱٫۸	۲٫۱
Pr	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵
Nd	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵
Sm	<۰٫۰۲	<۰٫۰۲	۰٫۱۴	<۰٫۰۲	<۰٫۰۲	<۰٫۰۲	۰٫۰۵	<۰٫۰۲	<۰٫۰۲	<۰٫۰۲
Eu	<۰٫۱	۰٫۲	۰٫۳	<۰٫۱	<۰٫۱	۰٫۲۳	۰٫۳	۰٫۲۵	۰٫۱۵	۰٫۲۵
Gd	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵
Tb	<۰٫۱	۰٫۱۱	۰٫۱۲	<۰٫۱	<۰٫۱	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱
Dy	۰٫۳۸	۰٫۵۷	۰٫۴۶	۰٫۴۴	۰٫۲۹	۰٫۴۹	۰٫۵۲	۰٫۵	۰٫۴۲	۰٫۵۱
Er	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۰٫۲	۰٫۱۸	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۲۲	۰٫۲	۰٫۱۹	۰٫۲۱
Tm	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱	<۰٫۱
Yb	۰٫۱	۰٫۱	<۰٫۰۵	۰٫۱	<۰٫۰۵	<۰٫۰۵	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱
$(La/Yb)_N$	۶٫۷۴	۱۳٫۴۸	۶٫۵	۱۳٫۴۸	۶٫۵	۶٫۵	۶٫۷۴	۶٫۷۴	۱۳٫۴۸	۱۳٫۴۸
$(Pr/Yb)_N$	۰٫۶۶	۰٫۶۶	۰٫۷۵	۰٫۶۶	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۶۶	۰٫۶۶	۰٫۶۶	۰٫۶۶
Eu/Eu*	۲۸٫۱	۳۸٫۶۸	۲۵٫۲	۲۳٫۵	۲۷٫۴	۴۴٫۴۸	۲۱٫۸	۴۳٫۳۴	۲۹٫۰۱	۵۶٫۰۸
ΣREE	۱۱٫۱	۱۱٫۶۵	۱۱٫۴۸	۱۲٫۱۳	۹٫۸۶	۱۱٫۴۳	۱۱٫۶۶	۱۱٫۵۶	۱۲٫۳۷	۱۱٫۶۲



شکل ۸ الگوی عناصر خاکی نادر به‌هنجار شده به کندریت در مگنتیت‌های منطقه [۲۷].



شکل ۹ الف) ترکیب شیمیایی مگنتیت‌های منطقه معدن کلاته ناصر در الف) نمودار Ni/(Cr+Mn) نسبت به Ti+V ، ب) نمودار Ca+Al+Mn نسبت به Ti+V [۹].

مگنتیت‌های کانسارهای کایرونا بالاترین مقدار عناصر خاکی (کمتر از ۱۰۰ گرم در تن) را دارند و غنی‌شدگی مشخص LREEها نسبت به HREEها را نشان می‌دهند و مقدار $(La/Yb)_N$ در این کانسارها کمتر از ۶۱ است [۱۵]. چنان که بیان شد، مقدار مجموع REEها در مگنتیت‌های منطقه کمتر از ۱۳ گرم در تن و مقدار $(La/Yb)_N$ کمتر از ۱۴ است و شواهد کانی‌شناسی (نبود آپاتیت) و دگرسانی (رخ ندادن دگرسانی سدیمی- کلسیمی) همه نشان می‌دهند که مگنتیت‌های معدن کلاته ناصر در منطقه آهنگران از نوع کایرونا نیستند. کانسارهای آهن رسوبی (BIF) غنی‌شدگی در Eu و تهی‌شدگی از Ce نشان می‌دهند [۳۴]. غنی‌شدگی در Eu در کانسارهای آهن رسوبی را به سیال‌های داغ گرمابی اقیانوس‌ها که غنی از Eu هستند، نسبت می‌دهند [۳۵]. شواهد بافتی و بررسی‌های صحرایی رسوبی بودن کانسار را رد می‌کنند. در کانسارهای آهن گرمابی، افزون بر غنی‌شدگی Eu، ناهنجاری مثبت شدید LREEها نسبت به HREEها نیز وجود دارد [۳۶] که این امر با ویژگی‌های مگنتیت‌های مورد بررسی همخوانی ندارد. بررسی‌های صحرایی، ساخت و بافت،

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.3.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.455]

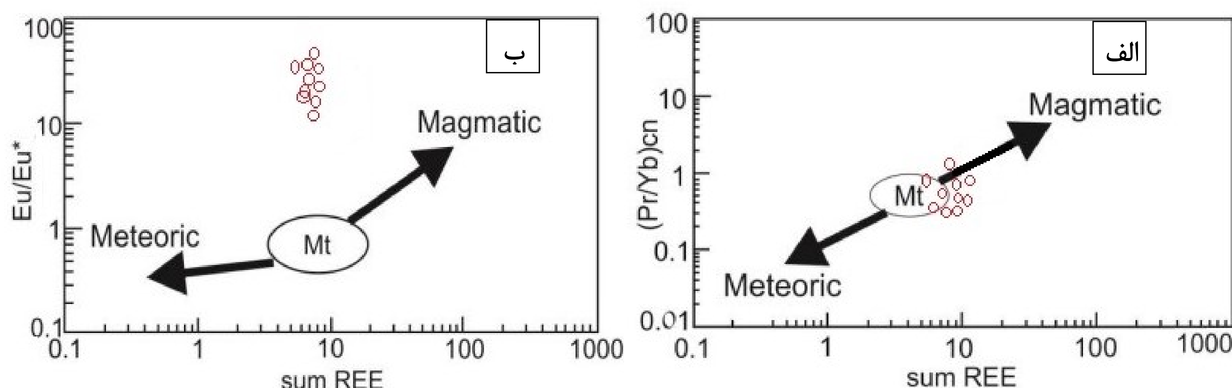
کانی‌شناسی، دگرسانی و کانی‌زایی همراه با ویژگی‌های عناصر خاکی نادر در مگنتیت‌ها همه نشانگر رخداد کانی‌سازی اسکارن در این منطقه هستند.

مدل تشکیل کانسار

مدل تشکیل کانی‌سازی اسکارن بر پایه انتقال حجم بالایی از سیال‌های کانه‌دار و وجود سنگ‌های واکنش‌پذیر چون سنگ آهک است. در ذخایر اسکارن دما بالا، اثر سیال‌های ماگمایی به روشنی اثبات شده است. دور شدن از توده نفوذی خاستگاه و عملکرد آبهای جوی باعث کاهش شوری و دمای سیال ماگمایی شده و کانی‌های آبدار دگرسانی دما پایین و دگرگونی پسرونده شکل می‌گیرند. گاهی سیال‌های جوی پس از شست و شوی سنگ‌های غنی از آهن با واحدهای کربناتی حاضر واکنش داده و ذخایر اسکارنی را بوجود می‌آورند. برای تعیین خاستگاه محلول کانه‌دار در ۴ کانسار اسکارن در ژاپن از نمودارهای Eu/Eu* و (Pr/Yb)cn نسبت به ΣREE استفاده شده است [۳۷]. از این نمودارها برای شناسایی خاستگاه محلول‌های کانه‌دار در منطقه مورد بررسی استفاده گردید. چنان که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، نمونه‌ها در مرز محلول‌های ماگمایی و سیال‌های جوی قرار دارند و این بیانگر نقش مشترک سیال‌های ماگمایی و آبهای جوی در تشکیل این کانسار آهن است. وجود کانی‌های آبدار دما پایین چون اپیدوت و کلریت و همراهی با مگنتیت، کنترل‌های ساختاری پهنه کانی‌سازی و نبود کانی‌های آهکی‌سیلیکاتی دما بالا چون گارنت و پیروکسن بیانگر نقش سیال‌های جوی در تشکیل این کانسار هستند. می‌توان چنین گفت که به احتمال بسیار توده نفوذی جوانتر دیگری در عمق خاستگاه سیال های ماگمایی عامل کانی‌سازی است. این سیال‌های ماگمایی از طریق گذرگاه‌های گسلی به بالا حرکت کرده و طی آمیختگی با آب‌های جوی، اسکارن دما پایین را در واحد کربناتی ایجاد کرده و کانی‌سازی آهن بصورت توده‌ای، رگه-رگچه‌ای و برشی را بوجود آورده‌اند. احتمال دارد که پهنه گارنت اسکارن در عمق کنار توده نفوذی عامل کانی‌سازی قرار داشته باشد.

برداشت

منطقه معدنی کلاته ناصر در شمال شرق قطعه لوت واقع است. بر اساس کنترل ساختاری پهنه کانی‌سازی و جانشینی دگرنهادی با حضور کانی‌های آبدار دما پایین، می‌توان کانه‌زایی آهن منطقه را از نوع اسکارن دما پایین دانست. بر اساس بررسیهای زمین‌شیمیایی و مقدار عناصر خاکی نادر و فرعی در مگنتیت‌ها، کانسار مورد بررسی در گستره کانسارهای اسکارن است. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که خاستگاه کانی‌سازی آهن منطقه معدنی، توده نفوذی جوانتر دیگری در عمق است. در بررسی خاستگاه محلول کانه‌دار مشخص شد که نمونه‌ها در مرز محلول‌های ماگمایی و سیال‌های جوی قرار دارند و این بیانگر نقش مشترک سیال‌های ماگمایی و آب‌های جوی در تشکیل این کانسار آهن است.



شکل ۱۰ الف) ترکیب شیمیایی مگنتیت‌های منطقه معدن کلاته ناصر در الف) نمودار Eu/Eu* نسبت به ΣREE ، ب) نمودار (Pr/Yb)cn نسبت به ΣREE [۳۷].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.3.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.455]

قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه دکتری نویسنده اول در دانشگاه فردوسی مشهد است. از داوران محترم که با نظرات ارزشمند خود در بهبود این کار پژوهشی ما را یاری کردند، بسیار سپاسگزاریم.

مراجع

[1] Berberian M., King G.C.P., *"ToWards a paleogeography and tectonic evolution of Iran",* Canadian Journal of Earth Sciences 18 (1981) 210-265.

[2] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S.A., Heydarian M. R., *"Magmatism and types of copper, gold, tin and tungsten condensation in the Lut Blocks"*, Proceedings of the 15th Conference of the Iranian Society of Crystallography and Mineralogy, Ferdowsi University of Mashhad 598-604.

[3] Jung D., Keller J., Khorasani R., Marcks Chr., Baumann A., Horn P., *"Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran",* Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran 51 (1983) 285-336.

[4] Karimpour M.H., Zaw K., Huston D.L., *"S-C-O isotopes, fluid inclusion microthermometry, and the genesis of ore bearing fluids at Qaleh-Zari Fe-oxide Cu-Au-Ag mine, Iran",* Journal of Sciences 16 (2005) 153-168. (in Persian)

[5] Karimpour M.H., Stern C. R., Farmer L., Saadat S., Malekezadeh shafaroudi, A., *"Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran",* Geopersia 1 (1) (2011) 19-36.

[6] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., *"Rb–Sr and Sm–Nd isotopic compositions and Petrogenesis of ore-related intrusive rocks of gold-rich porphyry copper Maherabad prospect area (North of Hanich), east of Iran (in Persian)",* Iranian journal of crystallography and mineralogy 18 (2010) 15-32.

[7] Arjmandzadeh R., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., Santos S.AJ.F., Medina J.M., Homam S.M., *"Sr–Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut Block, Eastern Iran)",* Journal of Asian Earth Sciences 41 (2011) 283-296.

[8] Gosselin. P., Beaudoin. G., Jébrak. M., *"Application of the Geochemical Signature of Iron Oxides to Mineral Exploration",* GAC–MAC Annual Meeting Prog (2006).

[9] Dupuis. C., Beaudoin. G., *"Discriminate diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types",* Mineralium Deposita 46 (3) (2011) 1-17.

[10] Singoyi. B., Danyushevsky. L., Davidson. G., Large. R., Zaw. K., *"Determination of trace elements in magnetites from hydrothermal deposits using the LA–ICP-MS technique",* SEG Keystone Conference, (2006), Denver, USA CD-ROM.

[11] Mollo. S., Putirka. K., Iezzi. G., Scarlato. P., *"The control of cooling rate on titanomagnetite composition: implications for a geospeedometry model applicable to alkaline rocks from Mt. Etna volcano",* Contribiution to Mineralogy and Petrology 165 (2013) 457-475.

[12] Nadoll. P., Angerer. T., Mauk. J.L., French. D., Walshe. J., *"The chemistry of hydrothermal magnetite: a review",* Ore Geology Reviews 16 (2014) 1-32.

[13] Dare. S.A., Barnes. S.J., Beaudoin. G., Méric. J., Boutroy. E., Potvin–Doucet. C., *"Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators",* Mineral. Deposita 49 (2014) 785-796.

[14] Acosta-Gongora. P., Gleeson. S.A., Samson. I.M., Ootes. L., Corriveau. L., *"Trace Element Geochemistry of Magnetite and Its Relationship to Cu-Bi-Co-Au-Ag-U-W Mineralization in the Great Bear Magmatic Zone, NWT, Canada",* Economic Geology 109 (2014) 1901-1928.

[15] Frietsch. R., Perdahl. J.A., *"Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore ypes",* Ore Geology Reviews 9 (1995) 489-510.

[16] Carew. M.J., Mark. G., Oliver. N.H.S., Pearson. N., *"Trace element geochemistry of magnetite and pyrite in Fe oxide (+/–Cu–Au) mineralized systems: Insights into the geochemistry of ore-forming fluid",* Geochimica et Cosmochimica Acta 70 (18) (2006) A83-A83.

[17] Rusk. B.G., Oliver. N.H.S., Zhang. D., Brown. A., Lilly. R., Jungmann. D., *"Compositions of magnetite and sulfides from barren and mineralized IOCG deposits in the eastern succession of the Mt Isa Inlier, Townsville",* Australia Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 10th Bi-annual SGA Meeting (2009) 656-658.

[18] Zhang. D., Rusk. B., Oliver. N., Dai. T., *"Trace element geochemistry of magnetite from the Ernest Henry IOCG deposit, Australia",* 11th biennial meeting SGA (2011)-Let s talk ore deposits, Antofagasta, Chile.

", New York", Longman, Harlow, Wiley (1992) 696 p.
[30] Boynton. W.V., *"Cosmochemistry of the rare earth elements, Meteorite studies",* In: Henderson. P., (eds.) Rare Earth Element Geochemistry, (Developments in Geochemistry 2), Elsevier, Amesterdam (1985) 115-1522.
[31] Rusk. B.G., Oliver. N.H.S., Zhang. D., Brown. A., Lilly. R., Jungmann. D., *"Compositions of magnetite and sulfides from barren and mineralized IOCG deposits in the eastern succession of the Mt Isa Inlier, Townsville",* Australia Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 10th Bi-annual SGA Meeting (2009) 656-658.
[32] Nadoll. P., Mauk. J.L., Hayes. T.S., Koenig. A.E., Box. S.E., *"Geochemistry of magnetite from hydrothermal ore deposits and host rocks of the Mesoproterozoic Belt Super group, United States",* Economic Geology 107 (2012) 1275-1292.
[33] Nyström. J.O., Henriquez. F., *"Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry",* Economic Geology 89 (1994) 820-839.
[34] Oksuz. N., Koc. S., *"Examination of Sarikaya (Yozgat-Turkey) iron mineralization with rare earth element (REE) method",* Journal of Rare Earths 28 (2009) 143-156.
[35] Barret. T.J., Fralick. P.W., Jarvis I., *"Rare earth element geochemistry of some Archean iron formations North of Lake Superior, Ontario",* Canadian Journal of Earth Science 25 (1988) 570-592.
[36] Tallarico. F.H.B., Figueiredo. B.R., Groves. D.I., Kositcin. N., McNaughton. N.H., Fletcher. IR., Rego. J.L., *"Geology and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarape Bahia deposit, Carajas copper-gold belt, Brazil: An Archean (2.57 Ga) example of iron-oxide Cu-Au-(U-REE) mineralization",* Economic Geology 100 (2005) 7-28.
[37] Kato. Y., *"Rare Earth Elements as an Indicator to Origins of skarn deposits: Examples of the kamioka Zn-Pb and Yoshiwara-Sannotake Cu (-Fe) deposits in Japan",* Resource Geology 49 (1999) 183-198.
[19] Berzina. A., *"Platinum-group element geochemistry of magnetite from porphyry-Cu-Mo deposits and their host rocks (Siberia, Russia) ",* Acta Geologica Sinica (English Edition) 86(1) (2012) 106-117.
[20] Xiaowen. H., Liang. Q., Yumiao. M., *"Trace element geochemistry of magnetite from the Fe (-Cu) deposits in the Hami region, eastern Tianshan orogenic belt, NW China",* Acta Geologica Sinica (English Edition) 88 (1) (2014) 176-195.
[21] Chen. W.T., Zhou. M.F., Li. X., Gao. J.F., Hou. K., *"In-situ LA-ICP-MS trace elemental analyses of magnetite: Cu-(Au, Fe) deposits in the Khetri copper belt in Rajasthan Province, NW India",* Ore Geology Reviews 65 (2015) 929-939.
[22] Makvandi. Sh., Ghasemzadeh-Barvarz. M., Beaudoin. G., Grunsky. E.C., McClenaghan. M.B., Duchesne. C., Boutroy. E., *"Partial least squares-discriminant analysis of trace element compositions of magnetite from various VMS deposit subtypes: Application to mineral exploration",* Ore Geology Reviews 78 (2016) 388-408.
[23] Gonzalez-Perez. I., Gonzalez-Jimenez. J.M., Gervilla. F., Fanlo I., Tornos F., Colas V., Arranz E., Hanchar J., Abad-Ortega M.D.M., Moreno-Abril A.J., Carrion M., Noval S., *"Genesis and evolution of the San Manuel iron skarn deposit (Betic Cordillera, SW Spain) ",* Ore Geology Reviews 141 (2022) 388-408.
[24] Xie H., Huang X., Meng Y., Tan H., Qi L., *"Discrimination of Mineralization Types of Skarn Deposits by Magnetite Chemistry",* Minerals (2022) 12, 608.
[25] Sipahi F., Gucer M.A., Eker C.S., *"Geochemical composition of magnetite from different iron skarn mineralizations in NE Turkey: implication for source of ore-forming fluids",* Arabian Journal of Geosciences (2020) 13:70
[26]Alavi Naieni. M., Behrozi. S., *"Geological map of Shahrakht, scale 1:250000",* Geological Survey of Iran, Tehran (1985).
[27] Guillou. Y., Maurizot. P., Vaslet. D., de la. H., Villeon. G., Weecksteen. A., Berthiaux. A.M., Andreieff, P., *"Geological map of Ahangaran, scale 1:100000",* Geological Survey of Iran, Tehran (1981).
[28] Ramdohr, P., *"The ore minerals and their intergrowth, intergrowth".* 2nd edition, Oxford-New York (1980) 1207 pp.
[29] Deer. W.A., Howie. R.A., Zussman. J., *"An introduction to the rock-forming minerals (2nd ed)*